

Geklebte modulare Zwischendecken aus Kleintafeln zur Altbaumodernisierung

G. Wisner, E. Stammen, K. Dilger

Institut für Füge- u. Schweißtechnik der Technischen Universität Braunschweig

g.wisner@tu-braunschweig.de

S. Sydow, N. Ritter

Fraunhofer Institut für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI)

steffen.sydow@wki.fraunhofer.de

A. Thesing

Terhalle Holzbau GmbH

a.thesing@terhalle.de

Abstract

Viele Wohnungsaltbauten weisen häufig sehr massive Außenwände, jedoch nur gering tragfähige Zwischendecken auf. Bei der Sanierung solcher Zwischendecken mit voller Grundriss-Spannweite ist die Zugänglichkeit durch Türen, Tore oder Fenster für viele größere Formate (z. B. lange Träger) oft eingeschränkt oder sogar unmöglich. Ein neuer Ansatz zum Austausch der alten Zwischendecke durch eine moderne tragfähige Decke analog einer vorgefertigten Fertighaus-Decke (Großtafel in Holzbauweise) stellt die modular aufgebaute Zwischendecke aus Kleintafeln in Holzbauweise dar. Diese bestehen wie die Großtafeln hauptsächlich aus Konstruktionsvollholz und Holzwerkstoffplatten und haben Möbelabmessungen, um die vorhandenen Zugangswege in das Gebäude zu nutzen. Zur thermischen Isolierung und Verbesserung des Schallschutzes werden neuartige Holzwerkstoffe aus 100 % Holz (Holzschaum) und für den Trittschallschutz relativ dünne faserverstärkte Textilbetonplatten integriert. Für eine sichere und steife Verbindung der Module werden Fügeverfahren aus dem Holzbau mit neuartigen Schnellklebtechniken mit elektrisch beheizbarer Klebfuge kombiniert, um einen schnellen Baufortschritt zu ermöglichen.

1 Modularisierung der Zwischendecke, Motivation und Lösungsansatz

Bei ungünstiger Zugänglichkeit in zu sanierenden Altbauten kann eine modularisierte Zwischendecke eine schwache oder beschädigte Altbaudecke ersetzen. Eine übliche Geschossdecke im Fertigbau (Großtafel) ist die Holzbalkendecke mit durchlaufenden Trägern aus Nadelholz als Konstruktionsvollholz mit darauf aufgenagelten oder geklammerten Holzwerkstoffplatten. In einer daraus abgeleiteten Variante mit einer Anzahl von Kleintafeln oder Modulen, die mosaikartig eine Geschossdecke bilden, sind die üblicherweise langen Trägerelemente daher mehrfach unterbrochen und müssen durch ausreichend tragfähige Verbindungsstöße wieder hergestellt werden. In einem Forschungs- und Entwicklungsprojekt [1], gefördert über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe – FNR, wird ein solches Modulkonzept untersucht. Das Prinzip des Modulkonzepts mit zwei verschiedenen Füge-Techniken ist in *Abb. 1 a)* dargestellt, wo Kleintafeln oder Module mechanisch über Nut und Feder zusammen gesteckt werden und zusätzlich ein besonders steifer Verbund durch eine Montageklebung an den Modulkanten erzielt wird.

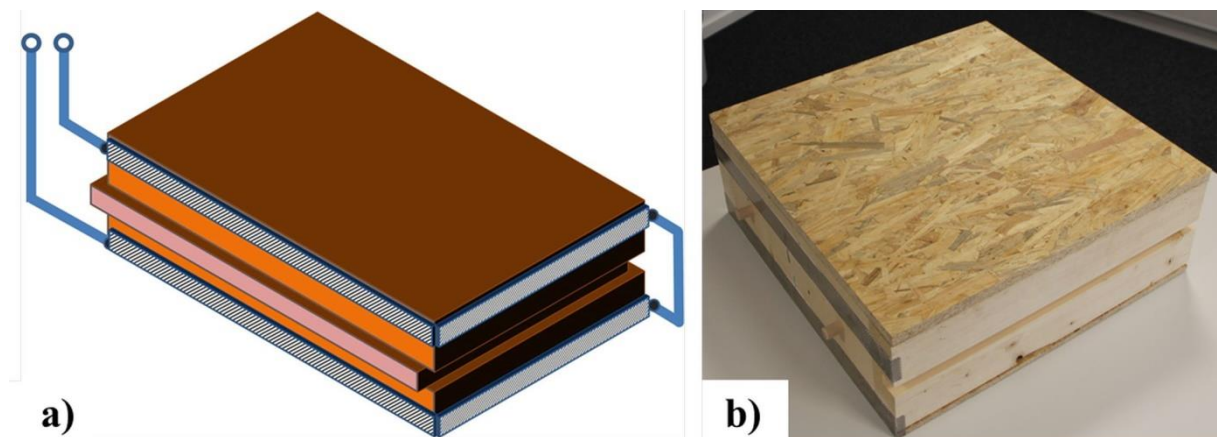


Abb. 1: Deckenmodulkonzept mit zwei Füge-Techniken: mechanischer Verbindung durch Nut/Feder oder Holzdübel in Nut und klebtechnisch durch elektrisch beheizbare Schmelzklebebänder; a) Prinzip; b) quadratisches Modul mit 62,5 cm Kantenlänge

Die Montageklebung kann durch eine Schmelzklebung mit vorbeschichteten Klebebändern erfolgen, die elektrisch beheizbar sind [2]. Dies ermöglicht eine schnelle Montage der einzelnen Module zum Aufbau der vollständigen Decke, weil der reaktive Schmelzklebstoff durch Abkühlen physikalisch abbindet und die Festigkeit dadurch schnell aufbaut. In *Abb. 1 a) und b)* sind daher die Module zweiseitig mit Heißklebebändern ausgerüstet, die sich möglichst an den Ober- und Unterkanten befinden.

2 Anforderungen an modularisierte Decken und Entwurf des Moduls

Der tragende Holzbau ist im Eurocode 5 [3, 4] reguliert und Gebrauchstauglichkeitsnachweise (Durchbiegung und Schwingung) sind maßgebend für die Dimensionierung der Geschossdecken, auch im Fertigbau [5]. Schwingungsnachweise und Trittschallschutz stellen hohe Anforderungen an die Konstruktion einer Holzbalkendecke. Speziell der Trittschallschutz wird häufig durch schwimmend gelagerte Betonestrich-Schichten erreicht, welche eine ausreichende Masse einbringen. Im Modulkonzept ist daher der Schallschutz eine vielseitige Herausforderung, da die Module möglichst leicht und tragbar ausfallen sollen und ggf. zweiteilig konzipiert werden müssen, weil eine Estrichplatte ggf. so dick und entsprechend schwer ausfällt, dass ein Komplettmodul nicht mehr von zwei Bauhandwerkern durch Türen, Tore oder über Treppen im zu sanierenden Gebäude getragen werden kann.

Die Modularisierung bietet den Vorteil, Standardgrößen in größeren Stückzahlen als Serienbauteil zu produzieren. Die notwendige Anpassung an die individuellen Grundrisse der zu sanierenden Gebäude wird durch exaktes Ausmessen und Übertragen der Maße auf eine kleinere Anzahl von maßgeschneiderten Rand-Modulen für die Wandbefestigung erreicht. Das Beispielm modul in *Abb. 1 b)* mit quadratischem Grundriss von 62,5 cm Kantenlänge ist in einer Seitenansicht in *Abb. 2* dargestellt.

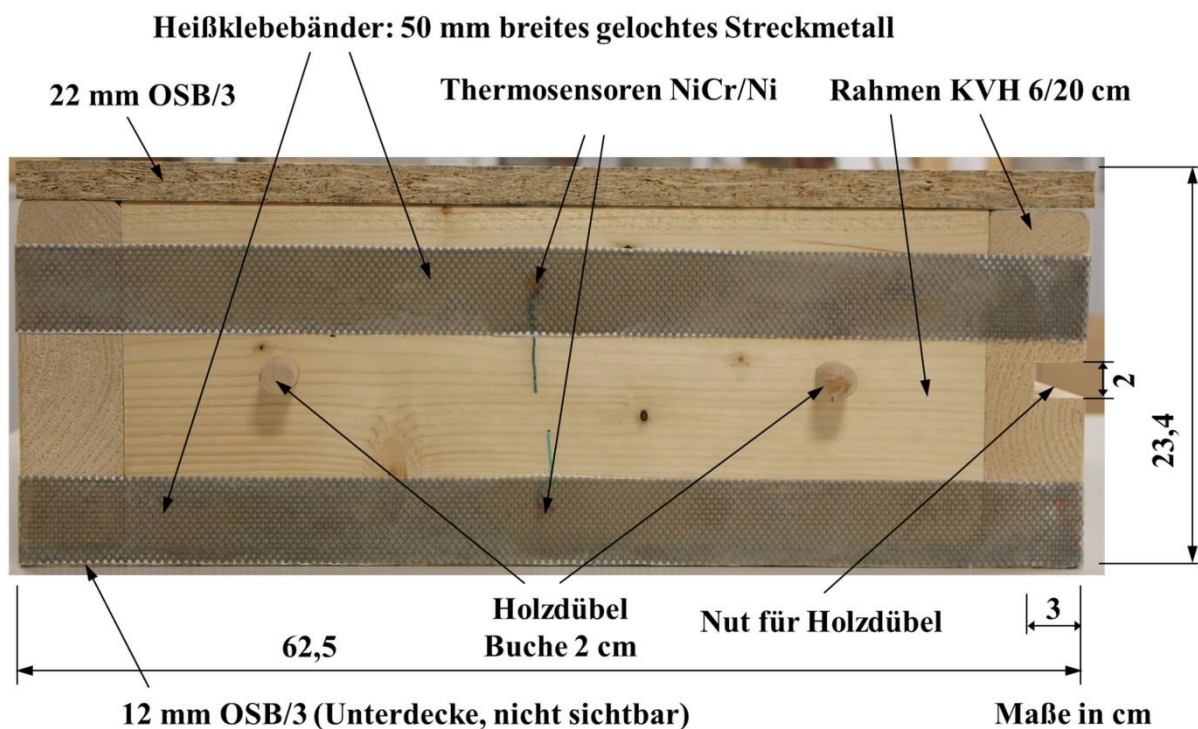


Abb. 2: Seitenansicht eines quadratischen Zwischendeckenmoduls mit 62,5 cm Kantenlänge und zwei Heißklebebandern an der Unterseite und in der Nähe der Oberseite

Ausgehend von der Konstruktion der üblichen Großtafeln im Fertigbau wurden Modulabmessungen in branchenüblichen Formaten vom Projektpartner Terhalle Holzbau GmbH in Ahaus entworfen. Abgeleitet aus Großtafeln bilden die Module als Kleintafeln die Struktur entsprechend durch Konstruktionsvollholzträger (KVH) an den Rändern und Holzwerkstoffplatten als Beplankung ab. Die Tragwirkung wird durch Konstruktionsvollholz KVH 6/20 erzielt, 20 mm dicke Buchenholzdübel stecken 30 mm tief in gegenüberliegenden Bohrungen und Nuten. Die Beplankung ist als Oberdecke aus 22 mm OSB/3 Platte ausgeführt, an der Unterseite kommt eine nur 12 mm dicke OSB/3 Platte zum Einsatz (in *Abb. 2* durch ein Klebeband verdeckt). Die Klebebänder bestehen aus einem beschichteten Stahlstreckmetall aus DC 01 in 0,8 mm Lochblechdicke als beheizbarer Klebebandträger und sind mit einem thermisch aktivierbaren Copolyamid Schmelzklebstoff (Vestamelt hylink von Evonik Resource Efficiency GmbH) beschichtet.

3 Fügetechniken

Durch die Modularisierung der hauptsächlich biegebeanspruchten Zwischendecken müssen die tragenden Konstruktionsvollhölzer einer üblichen Balkendecke häufig unterbrochen werden und stoßen an den Verbindungsstellen aufeinander. Diese Fügstellen müssen den verlorenen werkstofflichen Zusammenhalt von langen Holzträgern durch guten Formschluss der mechanischen Verbindungsmittel und ausreichend dimensionierte Querschnitte und Überlappings- sowie Einstecklängen adäquat ersetzen. Die Fügetechniken aus dem Holzbau sind mit einem sinnvollen Toleranzfeld bei den Abmessungen von Nut und Feder oder Holzdübel zu Bohrung zu wählen. Durch die Abmessungen der Kleintafeln im Möbelmaßstab und bei möglicherweise nicht exakter Lagerung und Verarbeitung kann ggf. feuchtebedingter Verzug bei Konstruktionsvollholz auftreten und ein zu eng gewähltes Toleranzfeld in den Passungen kann erhebliche Schwierigkeiten bei der Baustellenmontage verursachen. Ein zu großzügig gewähltes Toleranzfeld wird auf der anderen Seite eine wenig steife Modulverbindung und über die Vielzahl der Modulstöße eine insgesamt sehr nachgiebige Zwischendecke ergeben. Dieser letzte Fall mit einem eingeschränkten Formschluss kann jedoch sehr gut durch die stoffschlüssige Fügetechnik Kleben kompensiert werden. Daher ergänzen sich in diesem Modulkonzept zwei Fügetechniken in günstiger Weise:

- Holzbautypische Fügetechniken gewährleisten die grundsätzlichen statischen Anforderungen hinsichtlich Durchbiegung, Schwingungsnachweis und Tragfähigkeit im Brandfall
- Strukturelle Klebtechnik verbindet die Segmente zu einer großen steifen Scheibe

Aus dem großen Materialspektrum der Konstruktionsklebstoffe wurden Schmelzklebstoffe für die Holzklebungen favorisiert, da sie das Holz gut benetzen können und schnell physikalisch durch Abkühlen abbinden. Im Modulkonzept wurde eine Heißklebetechnik mit elektrisch beheizter Fuge [2] vorgesehen, bei der ein dünner metallischer Träger mit einem reaktiven Schmelzklebstoff beschichtet wird. Dieses Band ist bei Raumtemperatur klebfrei und wird für die Vormontage an den Modulseiten auf ein relativ niedriges Temperaturniveau (120–140 °C) erhitzt, welches den Klebstoff im thermoplastischen Bereich reversibel anschmelzen kann, so dass das Band am Modul haftet. Die spätere Montageklebung beim Aufbau der Zwischendecke erfolgt bei höheren Temperaturen (180–200°C) und aktiviert auch eine chemische Reaktion im Schmelzklebstoff.

4 Experimentelle Untersuchungen heiß geklebter Holzwerkstoff-Plattenstöße

Die Beplankung der Holzbalkendecke in Großtafeln für den Fertigbau erfolgt üblicherweise mit Holzwerkstoffplatten wie Spanplatten oder Großspanplatten (Oriented Strand Boards – OSB). Diese werden auf die tragenden Konstruktionsvollhölzer als Ober- und Unterdecke aufgenagelt oder geklammert. Die aneinander stoßenden schmalen Plattenkanten werden meist nicht miteinander verbunden. Werden solche Plattenstöße jedoch strukturell geklebt, könnte eine zusätzliche Sandwich-Tragwirkung der Zwischendecke erzielt werden, indem geschlossene Deckschichten aus vielen Einzelplatten gefügt werden. Das Potenzial dieser Schmalkantenklebung mit dem reaktiven Schmelzklebstoff wurde in Experimenten an Plattenkantenstößen von OSB-Platten untersucht und in 4-Punkt Biegeversuchen wurden geklebte Platten mit den ungeschnittenen OSB-Platten verglichen. Durch den Herstellungsprozess weisen OSB-Platten durch die Anordnung der Großspäne sehr unterschiedliche mechanische Eigenschaften in Längs- und Querrichtung der Plattenproduktion auf. In DIN EN 300 [6] sind die Anforderungen für diese Holzwerkstoffplatten geregelt. Bei der Biegefestigkeit sind die Anforderungen in Längsrichtung (Hauptachse) meist doppelt so hoch, wie in Querrichtung (Nebenachse). Daher wurden OSB/3 Zuschnitte unter der Berücksichtigung der Produktionsrichtung entnommen und im Biegetest geprüft.

Abbildung 3 a) und b) zeigen ein mittig auf Schmalkante geklebtes OSB/3 Brett mit den Abmessungen 800 mm x 150 mm in 22 mm Plattenstärke im 4-Punkt Biegeversuch. Ein induktiver Wegaufnehmer ist so positioniert, dass die Rissöffnung der Plattenstöße an der Unterkante aufgezeichnet werden kann. Die Biegeversuche wurden mit 1,8 mm/min durchgeführt und bis zu einer Rissöffnung von 4 mm gefahren.

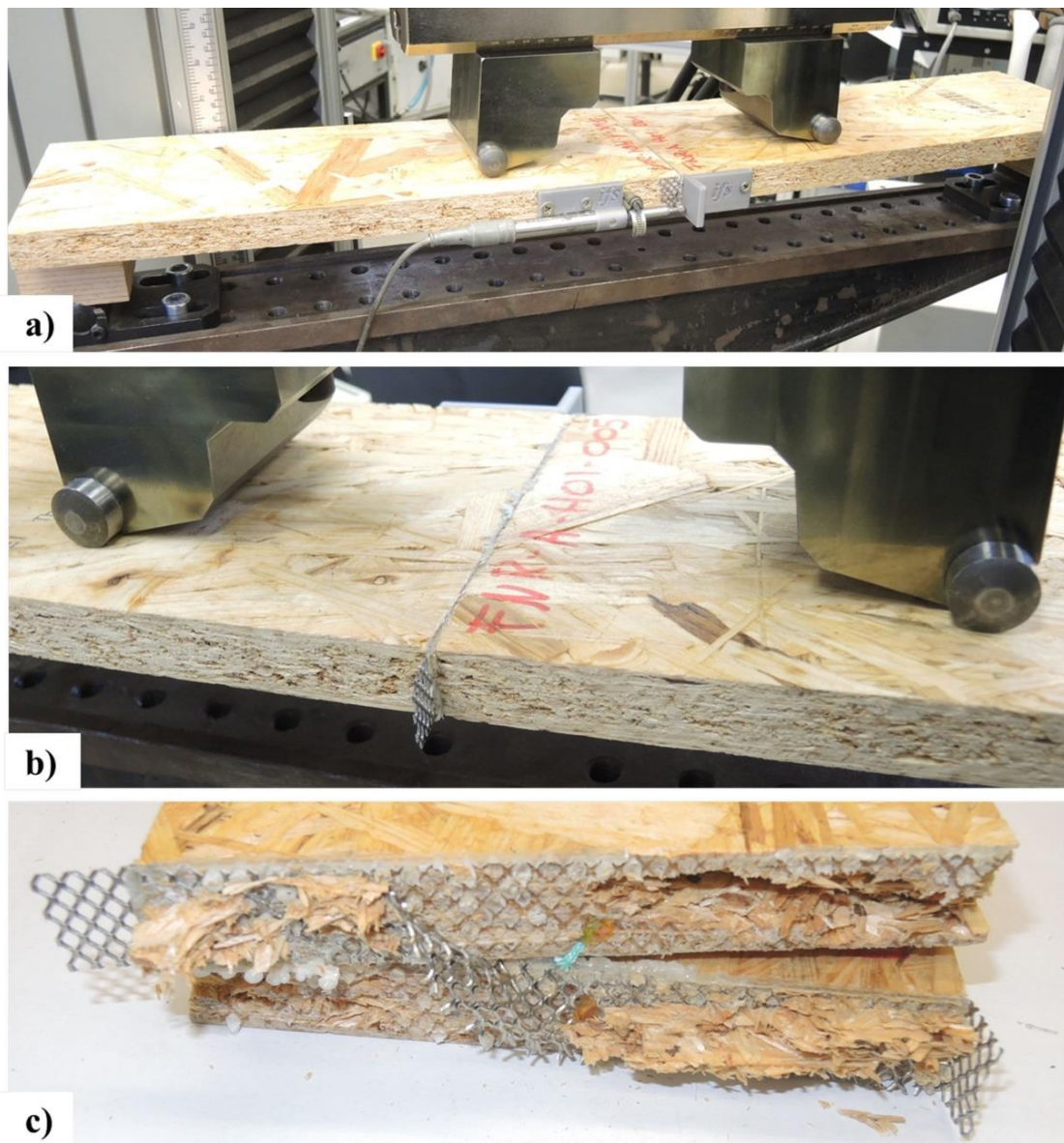


Abb. 3: 4-Punkt Biegeprüfung von heiß geklebten Schmalkantenstößen aus OSB/3 Platten in 22 mm Dicke, a) Versuchsaufbau mit Wegaufnehmer zur Detektion der Rissöffnung der Unterkante; b) Anordnung des Klebebandes; c) Bruchbild mit Holzaustriss

Die mittig geklebten OSB/3-Platten wurden mit ungeschnittenen OSB/3 Platten verglichen, von jeder Variante wurden drei Proben geprüft. *Abbildung 4* zeigt die erzielten Biegefestigkeiten im Vergleich zu den Anforderungen von 18 N/mm^2 (längs) und von 9 N/mm^2 (quer). Die ungeschnittenen OSB-Platten erfüllten bis auf eine Probe (8,5 % zu niedrig) die Anforderungen der DIN EN 300.

Im rechten Bereich der *Abb. 4* sind die Biegefestigkeiten der mittig auf Schmalkante geklebten OSB-Platten dargestellt, bei deren Herstellung die Heißklebezeit (1–5 Minuten bei 180°C) variiert wurde. Die geklebten Platten erfüllten die Anforderungen der DIN EN 300 in Querrichtung ebenfalls in fast allen Fällen, zwei Proben verfehlten die

Anforderungen um 14 % und 16 %. In der Analyse korrelieren niedrige Klebfestigkeiten mit tendenziell zu geringen Klebstoffauflagen auf den Klebebändern, eine Klebstoffauflage von mindestens 1200 g/m² kann demnach empfohlen werden. Der Einfluss von Heizzeiten und auch Temperaturen zwischen 180–200 °C (hier nicht dargestellt) ist eher gering.

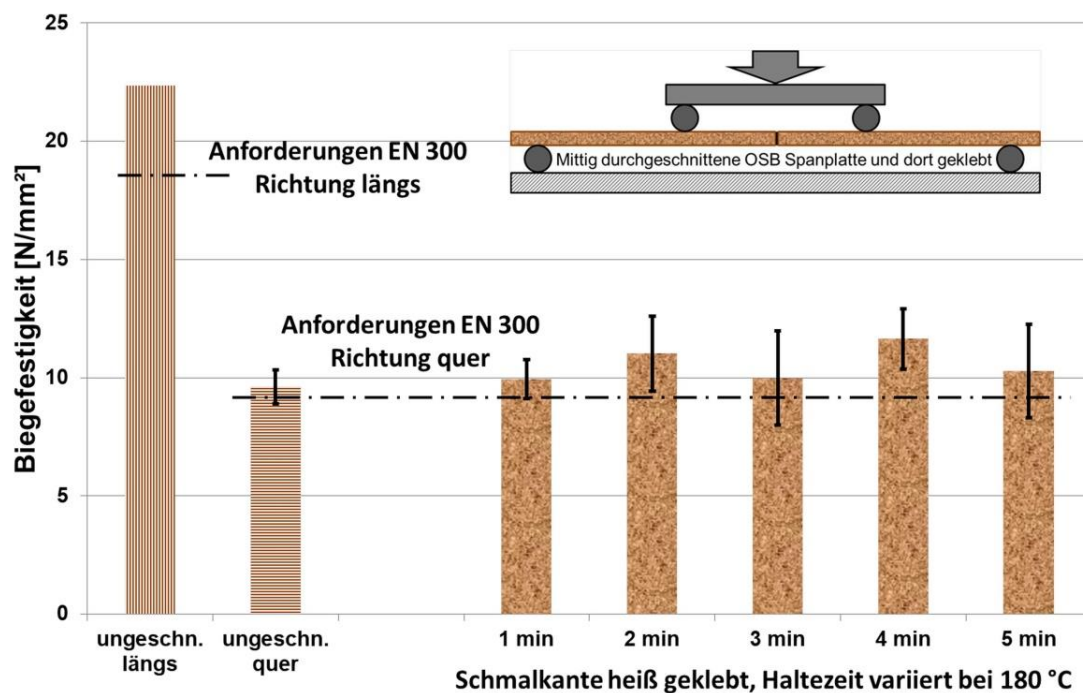


Abb. 4: Biegefestigkeiten von ungeschnittenen- und geschnittenen OSB/3 Platten in 22 mm Dicke verglichen mit auf Schmalkante heiß geklebten Platten

4 Holzschaum als Isolationswerkstoff

Im Modulkonzept sollte ein maximaler Anteil von nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz kommen. Daher wurde für die thermische und akustische Isolierung im Inneren der Deckenmodule ebenfalls ein Holzfaserwerkstoff vorgesehen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Holzfaserplatten mit petrochemisch hergestellten Bindemitteln wurde ein am Fraunhofer-Institut für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut entwickelter Holzschaum ohne künstliche Bindemittel [7] eingesetzt, der während der Herstellung nur die holzeigenen Bindungsmöglichkeiten in einer Kombination aus chemischer Bindung und mechanischer Verhakung durch starke Fibrillierung der Fasern nutzt. Dabei entsteht ein druckfester Holzschaum, der durch verschiedene Methoden in technisch sinnvollen Dichten zwischen 50 und 250 kg/m³ aufgeschäumt werden kann, siehe Abb. 5 a).

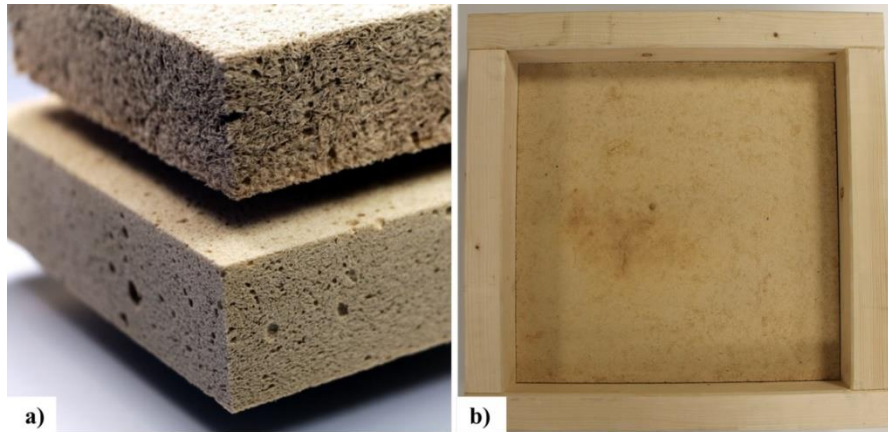


Abb. 5: Holzschaum: a) unterschiedliche Dichten, Plattendicke 20 mm; b) Aufsicht auf Holzschäumblock im Deckenmodul (50,5 cm Kantenlänge, 12 cm dick)

Die meisten Werkstoffeigenschaften der Holzschäume sind grundsätzlich stark dichteabhängig. Unterschiede ergeben sich jedoch in Abhängigkeit von der Holzart, weil der Zerfaserungsprozess zu desintegrierten Holzfasern unterschiedlicher Faserlänge und Fibrillierung führt. So weisen Holzschäume aus Kiefer generell höhere mechanische Kennwerte als Holzschäume aus Buche auf. Bei den thermischen Eigenschaften unterscheiden sich die Schäume von der Holzart dagegen nicht wesentlich. Hier bestimmt die Dichte und die damit einhergehende Porenstruktur die thermische Leitfähigkeit, siehe Abb. 6.

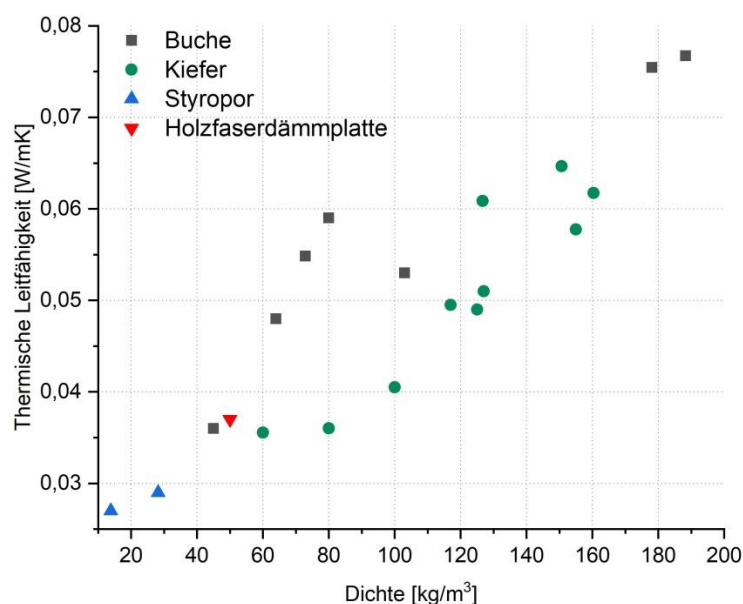


Abb. 6: Thermische Leitfähigkeit von Holzschäumen aus Buche und Kiefer im Vergleich zu konventionell eingesetzten Isolationsmaterialien bei unterschiedlichen Dichten

Im Bereich der Schallisolationswirkung konnten Holzschaume aus Buche in Experimenten mit einem Kundt'schen Rohr ihr recht hohes Potenzial zeigen. *Abbildung 7* zeigt Verläufe des Schallabsorptionskoeffizient α von verschiedenen Schaumproben aus Holzschaum und Akustikschaum aus Polystyrol EPS. Die Proben haben einen Durchmesser von 150 mm bei einer Dicke von 30 mm.

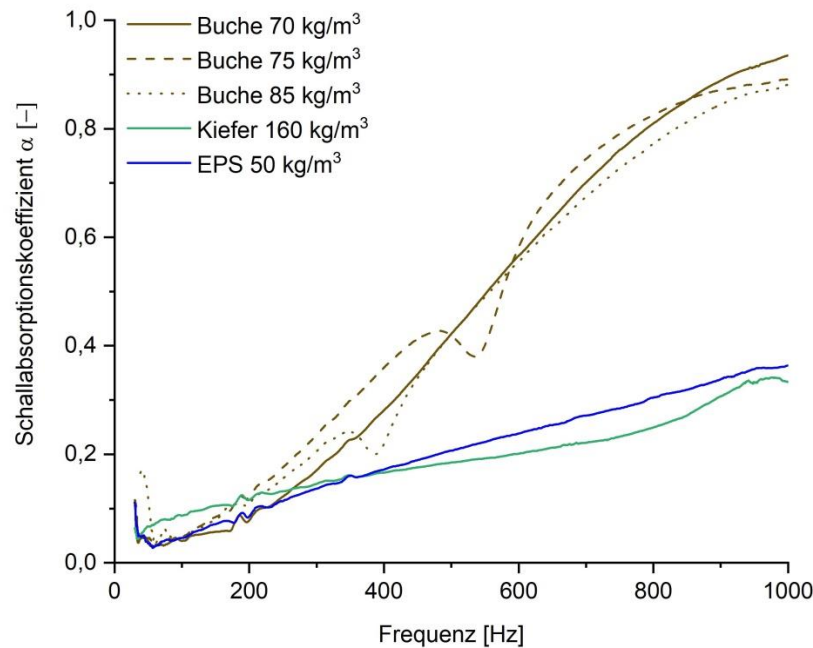


Abb. 7: Akustische Eigenschaften von Schaumwerkstoffen als Holzschäume aus Buche und Kiefer im Vergleich zu Akustikschaum aus Polystyrol EPS

Buchenschaum mit geringen Dichten weist ab etwa 100–200 Hz einen steileren Anstieg des Koeffizienten auf. Dies verspricht gute Eigenschaften für den Einsatz als Isolationsmaterial in den Deckenmodulen und sollte in Kombination mit möglichst dünnem Betonestrich eine ausgewogene Schall- und Trittschall-Absorption ermöglichen.

4 Zusammenfassung

Das Deckenmodulkonzept mit Auflösung einer konventionellen Balkendecke aus Großtafeln in eine Vielzahl von Kleintafeln nutzt die Kombination von zwei Füge-techniken, um den Deckenverbund wieder herzustellen und auch im Brandfall ausreichend tragfähig zu bleiben. Die Kombination aus holzbautypischen Verbindungen und einer elektrisch beheizten Schnellklebetechnik ermöglicht eine sehr schnelle Decken-

montage durch das schnelle Abbinden des Schmelzklebstoffs im Vergleich zu konventionellen Konstruktionsklebstoffen.

Die Klebfestigkeiten erzielen bei an den Schmalkanten geklebten OSB-Platten die Biegefestigkeiten der ungeschnittenen OSB-Platte in Querrichtung. Damit kann eine großflächige Scheibe aus vielen Einzelplatten gefügt werden und eine zusätzliche Sandwich-Tragwirkung in der Geschossdecke erzielt werden.

Im Modulkonzept kommen fast ausschließlich Vollholz und Holzwerkstoffe zum Einsatz. Nur im Bereich der Trittschalldämmung wird bei den niedrigen Frequenzen Betonestrich mit einer Mindestmasse erforderlich sein. Dieser Betonestrich könnte separat als Teilplatte das ansonsten möglichst leichte Deckenmodul ergänzen. Oberhalb des tieffrequenten Trittschalls kann der neue Holzschaum speziell aus Buche eine sehr gute Absorption erzielen.

Literatur

- [1] FNR-Verbundvorhaben: Zwischendeckensanierung in Altbauten durch mosaikartig geklebte, modulare Holz oder Holz-Beton-Verbünde; Teilvorhaben 1: Füge-techniken der Werkstoffverbünde und Module, Institut für Füge- und Schweiß-technik der Technischen Universität Braunschweig; Teilvorhaben 2: Holz-Werkstofftechnische Aspekte der Module, Fraunhofer Institut für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI); Laufzeit: 15.02.2019 bis 14.02.2022, <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fkz=22007817> und <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fkz=22023318>
- [2] Wisner, G. et al.: Neuartige Schnellklebebänder für den Fertighausbau. Fortschrittsberichte der Materialforschung und Werkstofftechnik des Clausthaler Zentrum für Materialtechnik (CZM) Bd. 1, 2015, S. 289–298.
- [3] DIN EN 1995-1-1:2010-12: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau.
- [4] DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau.
- [5] BDF Merkblatt 02-04 Gebrauchstauglichkeit von Holzbalkendecken, Rev. 3.0, 04.09.2017

- [6] DIN EN 300, Platten aus langen, flachen, ausgerichteten Spänen (OSB) – Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen; Deutsche Fassung EN 300:2006
- [7] Bunzel, F.; Ritter, N.; Scholtyssek, J.: Holzschaum - Eine Alternative zu petrochemischen Schaumstoffen. Holztechnologie. 2017; 58: 31-35.

Autorenanschriften

Dipl.-Ing. Gregor Wisner

Technische Universität Braunschweig

Institut für Füge- und Schweißtechnik

Langer Kamp 8

38106 Braunschweig

Telefon: 0531-391-95509

Telefax: 0531-391-95599

E-Mail: g.wisner@tu-braunschweig.de

Dr. Steffen Sydow

Fraunhofer Institut für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI)

Bienroder Weg 54E

38108 Braunschweig

Telefon: 0531-2155- 282

Telefax: 0531-2155-200

E-Mail: steffen.sydow@wki.fraunhofer.de

M.Sc. André Thesing

Terhalle Holzbau GmbH

Solmsstraße 46

48683 Ahaus-Ottenstein

Telefon: 02561 9823 224

Telefax: 02561 9823 4224

E-Mail: a.thesing@terhalle.de